

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
24 juin 2004 (24.06.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/053503 A1

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :

G01P 15/10, G01L 1/10

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2003/050915

(22) Date de dépôt international :

1 décembre 2003 (01.12.2003)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

0215599 10 décembre 2002 (10.12.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US)  
: THALES [FR/FR]; 45, rue de Villiers, F-92200  
NEUILLY-SUR-SEINE (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : QUER,  
Régis [FR/FR]; THALES Intellectual Property, 31-33,  
avenue Aristide Briand, F-94117 ARCUEIL (FR). IN-  
GLESE, Jérôme [FR/FR]; THALES Intellectual Property,  
31-33, Avenue Aristide Briand, F-97114 ARCUEIL (FR).  
ROUGEOT, Claude [FR/FR]; THALES Intellectual  
Property, 31-33, Avenue Aristide Briand, F-94117 AR-  
CUEIL (FR).

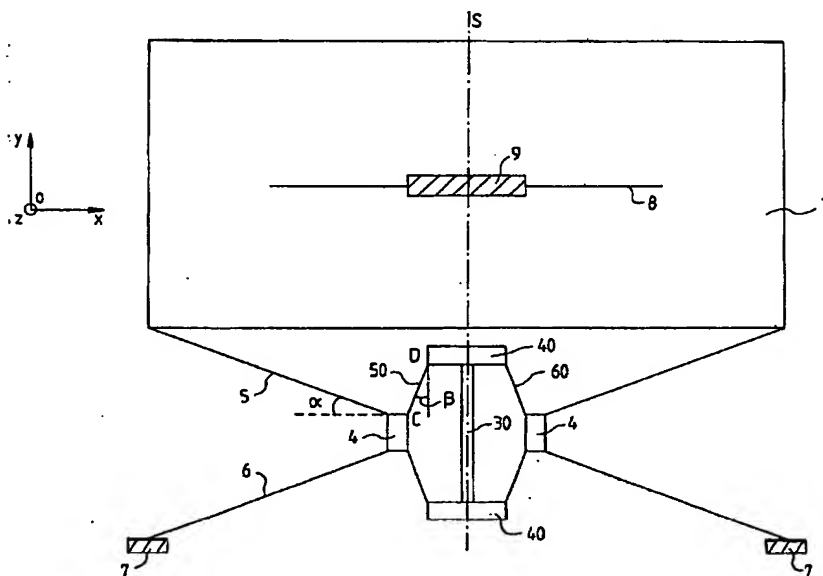
(74) Mandataires : GUERIN, Michel etc.; THALES Intellec-  
tual Property, 31-33 Avenue Aristide Briand, F-94117 AR-  
CUEIL (FR).

(81) État désigné (national) : US.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: VIBRATING BEAM ACCELEROMETER

(54) Titre : ACCELEROMETRE A POUTRE VIBRANTE



(57) Abstract: The invention relates to a micromachined accelerometer in a flat plate consisting of a base and at least one measuring cell comprising a moveable seismic mass (1) which is connected to the base and which can be moved in translation along sensitive axis y of the accelerometer, under the effect of an acceleration y along said axis. Moreover, a resonator cell is provided, comprising a resonator (30) which can vibrate and undergo tension or compression according to the direction of acceleration y and which is positioned symmetrically in relation to an axis of symmetry S of the structure, said axis S being parallel to axis y and passing through the centre of gravity of the seismic mass (1). The aforementioned measuring cell also includes acceleration force amplification means (2) comprising at least one element (7) for anchoring to the base,

two rigid terminations (4) from the resonator cell and two pairs of micromachined arms (5, 6) which are disposed symmetrically in relation to axis S, each pair comprising a first arm (5) connecting one termination (4) to the seismic mass (1) and a second arm (6) connecting the same termination (4) to the anchoring element (7). The angle between axis Ox and the first arm is sufficiently small such that the tensile or compressive force exerted on the resonator (30) is greater than the acceleration force exerted on the seismic mass (1). According to the invention, two secondary pairs of arms (50, 60) are provided, which connect an attachment point (D) on a restraining element (40) with an attachment point (C) on a termination (4) of the cell.

[Suite sur la page suivante]



(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(57) **Abrége :** Accéléromètre micro-usiné dans une plaque plane comprenant une base, et au moins une cellule de mesure comprenant une masse sismique mobile (1) reliée à la base et susceptible de se déplacer en translation suivant l'axe y sensible de l'accéléromètre sous l'effet d'une accélération y suivant cet axe y, une cellule à résonateur comportant un résonateur (30) susceptible de vibrer et de subir une traction ou une compression en fonction du sens de l'accélération y et placée symétriquement par rapport à un axe de symétrie S de la structure, cet axe S étant parallèle à l'axe y et passant par le centre de gravité de la masse sismique (1), la cellule de mesure comprenant en outre des moyens d'amplification (2) de la force d'accélération comprenant au moins un pied d'ancrage (7) à la base, deux terminaisons (4) rigides de la cellule à résonateur et deux paires de bras micro-usinés (5, 6) symétriques par rapport à l'axe S, chaque paire comportant un premier bras (5) reliant une terminaison (4) à la masse sismique (1), et un deuxième bras (6) reliant la même terminaison (4) au pied d'ancrage (7), l'angle  $\alpha$  entre l'axe Ox et le premier bras étant suffisamment faible pour que la force exercée en traction ou en compression sur le résonateur (30) soit supérieure à la force d'accélération exercée sur la masse sismique (1). Selon l'invention, deux paires secondaires (50, 60) sont prévues, reliant un point d'attache (D) sur un élément d'encastrement (40) avec un point d'attache (C) sur une terminaison (4) de la cellule.

## ACCELEROMETRE A POUTRE VIBRANTE

Le domaine de l'invention est celui des accéléromètres monolithiques plats. La structure plate permet une fabrication simple et économique notamment par des procédés d'attaque chimique. De plus, la  
5 fabrication peut être collective.

Un accéléromètre monolithique plat comporte classiquement un corps ayant une base et deux cellules de mesure en vue d'une mesure différentielle. Une cellule de mesure comprend typiquement une masse sismique reliée d'une part à la base et d'autre part à un capteur de force lui-même également relié à la base. Lorsque l'accéléromètre est soumis à une  
10 accélération suivant l'axe sensible qui est l'axe de l'accélération à mesurer, la masse sismique est soumise à une force d'inertie qui est amplifiée et transmise au capteur de force par des moyens permettant d'amplifier la force ou le déplacement transmis.

Dans la demande de brevet FR 0102573, l'amplification est obtenue au moyen d'un bras dit bras de levier qui prolonge la masse sismique. Le déplacement de la masse sismique est transmis au capteur de force au moyen de ce bras de levier. Plus précisément, le bras est relié à la base par une articulation permettant à la masse de tourner autour d'un axe  
20 perpendiculaire à l'axe sensible de l'accéléromètre et est relié au capteur de force par une charnière. Lorsque l'accéléromètre est soumis à une accélération suivant l'axe sensible, la masse sismique est soumise à une force qui la fait tourner autour de l'articulation, ainsi donc que la partie du bras de levier reliée au capteur de force.

Le capteur de force est à poutre(s) vibrante(s). La poutre vibrante est reliée à des électrodes permettant de la faire vibrer à sa fréquence de résonance et à un circuit de mesure de la variation de sa fréquence de résonance.

Les cellules de mesure sont montées de manière à ce que lorsque  
30 l'accéléromètre est soumis à une accélération suivant l'axe sensible, l'une des poutres subit une force de traction, l'autre poutre subissant une force de compression de même valeur, ces traction ou compression faisant varier la fréquence de résonance de la poutre mesurée par le circuit de mesure. On

obtient ainsi une mesure différentielle permettant notamment de s'affranchir de certains effets non linéaires.

La variation de la fréquence de résonance est directement liée au déplacement du capteur de force induit par la rotation de la partie du bras de levier reliée au capteur de force. L'extrémité de la poutre subit aussi une certaine rotation ce qui s'avère souvent gênant, notamment dans le cas d'un diapason (c'est-à-dire de deux poutres formant un diapason) où la force transmise aux deux poutres n'est pas exactement identique

De plus, la qualité d'usinage des charnières et articulations est primordiale et constitue une des limitations industrielles de cet accéléromètre.

En outre le déplacement étant proportionnel à la longueur du bras de levier, l'encombrement est d'autant plus important que l'on souhaite obtenir un grand rapport d'amplification.

Un but important de l'invention est donc de proposer un accéléromètre dont les moyens d'amplification ne comportent pas de bras de levier utilisé en rotation et comportant de manière générale un résonateur qui peut être une poutre vibrante.

Pour atteindre ces buts, l'invention propose un accéléromètre micro-usiné dans une plaque plane comprenant une base, et au moins une cellule de mesure comprenant une masse sismique mobile reliée à la base et susceptible de se déplacer en translation suivant l'axe Oy sensible de l'accéléromètre sous l'effet d'une accélération  $\gamma$  suivant cet axe Oy, une cellule à résonateur comportant un résonateur susceptible de vibrer et de subir une traction ou une compression en fonction du sens de l'accélération  $\gamma$  et placé symétriquement par rapport à un axe de symétrie S de la structure, cet axe S étant parallèle à l'axe Oy et passant par le centre de gravité de la masse sismique, la cellule de mesure comprenant en outre des moyens d'amplification de la force d'accélération générant la translation comprenant au moins un pied d'ancrage à la base, deux terminaisons rigides de la cellule à résonateur et deux paires de bras micro-usinés, les paires étant symétriques par rapport à l'axe S, chaque paire comportant un premier bras reliant un premier point d'attache sur une terminaison et un deuxième point d'attache sur la masse sismique, et un deuxième bras reliant un troisième

point d'attache à la même terminaison et un quatrième point d'attache au pied d'ancrage, l'angle  $\alpha$  entre l'axe  $Ox$  perpendiculaire à l'axe  $Oy$  et la ligne joignant les premier et deuxième points d'attache étant symétrique par rapport à l'axe reliant les terminaisons par leur milieu, de l'angle entre l'axe  $Ox$  et la ligne joignant les troisième et quatrième points d'attache et suffisamment faible pour que la force exercée en traction ou en compression sur le résonateur soit supérieure à la force d'accélération exercée sur la masse sismique

En raison de la symétrie de cette structure, les déplacements de la masse sismique, des terminaisons d'encastrement et du résonateur sont parfaitement axiaux. De plus les performances de cette structure, c'est-à-dire le rapport d'amplification obtenu est simplement déterminé par l'angle  $\alpha$ ; la géométrie de la masse sismique dont le centre de gravité est situé sur l'axe de symétrie  $S$ , n'intervient pas sur les performances de l'accéléromètre.

Selon un premier mode de réalisation, les terminaisons rigides du résonateur sont des éléments d'encastrement des extrémités du résonateur: la cellule à résonateur comprend simplement le résonateur lui-même.

Selon un autre mode de réalisation, la cellule à résonateur comporte deux éléments rigides d'encastrement des extrémités du résonateur et deux paires de bras secondaires micro-usinés, ces paires étant symétriques par rapport à l'axe  $S$ , chaque paire comportant un premier bras secondaire reliant un premier point d'attache sur un élément d'encastrement et un deuxième point d'attache sur une terminaison de la cellule, et un deuxième bras secondaire reliant un troisième point d'attache à l'autre élément d'encastrement et un quatrième point d'attache à la même terminaison de la cellule, l'angle  $\beta$  entre l'axe  $Oy$  et la ligne joignant les premier et deuxième points d'attache étant symétrique par rapport à l'axe passant par les milieux des éléments d'encastrement, de l'angle entre l'axe  $Oy$  et la ligne joignant les troisième et quatrième points d'attache et suffisamment faible pour que la force exercée en traction ou en compression sur le résonateur soit supérieure à la force d'accélération exercée sur la masse sismique.

Ce mode de réalisation correspond à une configuration en cascade, visant à multiplier le rapport d'amplification de l'accéléromètre.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

5 la figure 1 représente schématiquement un premier mode de réalisation d'une structure de cellule de mesure d'un accéléromètre selon l'invention, dans laquelle la masse sismique est située d'un côté des moyens d'amplification, les paires de bras étant disposés en « papillon »,

les figures 2 à 5 représentent schématiquement un deuxième  
10 mode de réalisation d'une structure de cellule de mesure d'un accéléromètre selon l'invention, dans laquelle la masse sismique entoure les moyens d'amplification, les paires de bras étant disposés en « papillon » figures 2 à 4 et en « cric » figure 5 ; figure 2 les paires de bras sont situés de l'autre côté du résonateur par rapport aux terminaisons, figure 3, ils sont situés du même  
15 côté que le résonateur, et figure 4, les terminaisons sont en forme de U,

la figure 6 représente schématiquement un mode de réalisation d'une structure de cellule de mesure d'un accéléromètre selon l'invention, dans laquelle les bras sont courbes suivant une forme concave,

la figure 7 représente schématiquement un mode de réalisation  
20 d'une structure de cellule de mesure d'un accéléromètre selon l'invention, dans laquelle les bras sont courbes suivant une forme convexe,

la figure 8 représente schématiquement un exemple d'accéléromètre selon l'invention, comportant deux cellules de mesure,

la figure 9 représente schématiquement un exemple  
25 d'accéléromètre selon l'invention comportant deux cellules de mesure qui partagent la même masse sismique située entre leurs moyens d'amplification,

la figure 10 représente schématiquement un exemple d'accéléromètre selon l'invention comportant deux cellules de mesure qui  
30 partagent la même masse sismique située sur un côté de l'accéléromètre,

la figure 11 représente schématiquement un exemple d'accéléromètre selon l'invention comportant deux cellules de mesure qui partagent la même masse sismique située autour de leurs moyens d'amplification,

la figure 12 représente schématiquement un exemple d'accéléromètre selon l'invention selon une configuration en cascade.

Dans la suite, on va prendre comme exemple de résonateur deux poutres formant diapason, que l'on fait vibrer en opposition de phase au moyen de deux électrodes. C'est cette configuration en diapason qui est représentée sur les figures. On pourrait tout aussi bien utiliser comme résonateur une poutre vibrante ou plusieurs poutres vibrantes ou une barre de torsion.

L'accéléromètre à poutres vibrantes selon l'invention comporte de préférence deux cellules de mesures qui peuvent être réalisées par usinage d'un substrat de silicium sur isolant (SOI) ou de quartz ou d'un autre matériau, mais d'autres méthodes sont également possibles.

Un substrat de silicium sur isolant est constitué d'un substrat monolithique fixe de silicium de quelques centaines de micromètres d'épaisseur (450  $\mu\text{m}$  par exemple) constituant la base de l'accéléromètre, qui porte sur sa face avant une fine couche d'oxyde de silicium de quelques micromètres d'épaisseur (2  $\mu\text{m}$  par exemple) elle-même recouverte d'une couche de silicium monocristallin de quelques dizaines de micromètres d'épaisseur (60  $\mu\text{m}$  par exemple). L'usinage consiste à attaquer le silicium monocristallin par sa face avant jusqu'à atteindre la couche d'oxyde, avec un produit de gravure sélectif qui attaque le silicium sans attaquer significativement l'oxyde. On arrête la gravure lorsque la couche d'oxyde est mise à nu. Cette couche d'oxyde peut elle-même être enlevée par attaque sélective avec un autre produit de manière à ne conserver que la couche superficielle de silicium. Celle-ci peut ainsi être gravée selon les motifs de surface désirés au moyen de techniques de photogravure ou d'une autre technique en usage en microélectronique pour obtenir ainsi la structure plane mobile désirée.

Par la suite on utilisera un repère O,x,y,z représenté sur les figures, dans lequel le plan des figures est le plan O,x,y, l'axe Oz représentant la direction perpendiculaire à ce plan. On désigne par axe Ox (respectivement Oy, Oz) un axe parallèle à l'axe Ox (respectivement Oy, Oz) représenté sur les figures. D'une figure à l'autre, les mêmes éléments sont désignés par les mêmes références.

La structure plane mobile 10 d'une cellule de mesure de l'accéléromètre, schématiquement représentée figure 1, comporte une masse sismique 1 mobile susceptible de se déplacer en translation selon l'axe sensible de l'accéléromètre désigné axe Oy, qui est l'axe de l'accélération  $\gamma$  à mesurer, et des moyens d'amplification 2 de la force générant cette translation, mesurée au moyen de deux poutres vibrantes 30 placées selon un axe Ox perpendiculaire à l'axe Oy, qui subissent une traction ou une compression selon le sens de l'accélération. Les poutres sont disposées symétriquement par rapport à un axe de symétrie S de la structure, cet axe de symétrie étant parallèle à l'axe Oy et passant par le centre de gravité de la masse : la géométrie de la masse sismique n'intervient alors pas sur les performances de l'accéléromètre.

Les poutres vibrantes 30 sont encastrées à chaque extrémité dans une terminaison 4 rigide. Chacune de ces terminaisons 4 comporte une paire de bras micro-usinés. Les deux paires sont symétriques par rapport à l'axe de symétrie S. Un premier bras 5 micro-usiné relie la terminaison 4 à la masse sismique 1. Pour que la terminaison 4 ne « flotte » pas par rapport à la base, c'est-à-dire par rapport au substrat monolithique fixe de silicium, un deuxième bras 6 micro-usiné, symétrique du premier bras par rapport à l'axe de la poutre, relie la terminaison 4 à un pied d'ancrage 7 fixé à la base. Ces bras 5 et 6 sont respectivement reliés à la masse sismique 1, à la terminaison 4 et au pied d'ancrage 7, par des points d'attache. L'épaisseur d'un bras 5 ou 6 peut varier sur sa longueur.

On a également schématiquement représenté figure 1 un zoom sur une partie des moyens d'amplification. Le premier bras 5 est articulé sur la terminaison 4 par un point d'attache A. On a également représenté une partie d'électrode E. Les deux poutres vibrantes 30 sont encastrées dans la terminaison 4 dans la mesure où elles sont formées par gravure par exemple de la même couche de matière. Les hachures représentent la matière, du silicium monocristallin par exemple dans le cas d'une cellule réalisée par usinage d'un SOI. Comme indiqué précédemment, les motifs de surface tels que les bras 5, point d'attache A, terminaison 4, poutres 30 et électrode E ont été obtenus par gravure du silicium monocristallin, puis par attaque de la couche d'oxyde.



L'angle  $\alpha$  formé par l'axe Ox et la ligne joignant les points d'attache A et B du premier bras 5 qui, en raison de la symétrie des bras 5 et 6 par rapport à l'axe reliant les terminaisons par leur milieu, est symétrique de l'angle formé par l'axe Ox et la ligne joignant les points d'attache du deuxième bras 6. Cet angle  $\alpha$  est suffisamment faible pour que la force exercée en traction ou en compression sur la poutre 30 soit supérieure à la force d'accélération exercée sur la masse sismique 1.

Ces moyens d'amplification 2 permettent en outre de libérer de l'espace autour des poutres vibrantes 30, notamment pour placer les électrodes dans le cas d'une excitation électrostatique. On rappelle que les poutres vibrantes sont mises en vibration à leur fréquence de résonance à l'aide d'électrodes disposées en regard de ces poutres, ou directement sur les poutres, suivant qu'il s'agit d'une excitation électrostatique ou piézo-électrique.

La masse sismique 1 est intrinsèquement guidée en translation selon l'axe Oy de par la symétrie de la structure. Pour ne conserver que ce degré de liberté selon Oy, on peut éventuellement raidir encore la structure selon Ox et Oz via des bras de guidage 8 orientés suivant l'axe Ox, dont une extrémité est fixée à la masse sismique 1 et l'autre à une partie 9 fixée à la base.

La force générant la translation de la masse sismique 1 selon l'axe Oy est transmise par les premiers bras 5 à chacune des terminaisons 4 qui, selon le sens de la translation, s'écartent ou se rapprochent l'une de l'autre suivant l'axe Ox, provoquant ainsi une traction ou une compression des poutres vibrantes 30. La structure 10 étant symétrique par rapport à l'axe S et en ce qui concerne les bras par rapport à l'axe des poutres, les déplacements de la masse sismique 1, des terminaisons 4 et de la poutre 30 sont parfaitement axiaux. Ainsi, lorsque les poutres 30 forment un diapason, les traction ou compression s'exercent de la même façon sur chacune des poutres du diapason.

Les performances de cette structure, c'est-à-dire le coefficient d'amplification obtenu est simplement déterminé par cet angle  $\alpha$ .

Lorsque la masse sismique 1 est soumise à une accélération  $\gamma$  selon le sens  $-Oy$ , la force d'inertie  $M.\gamma$  est amplifiée et transmise par les moyens d'amplification 2 aux poutres vibrantes 30. La force de compression

(qui peut être une force de traction pour d'autres configurations) dans ces poutres a alors pour amplitude  $M \cdot \gamma / \tan \alpha$ . Le rapport entre le déplacement de la masse sismique 1 selon  $-Oy$  et le déplacement selon  $Ox$  d'une terminaison est sensiblement égal à  $2/\tan \alpha$ . Selon son utilisation, cette structure peut constituer un système d'amplification de déplacement ou de force.

Selon un mode de réalisation préférentiel, la masse sismique 1 entoure les moyens d'amplification 2 à poutres vibrantes comme représenté figures 2 à 5. Une telle configuration permet d'obtenir une structure plus compacte.

Les bras 5, 6 peuvent être disposés selon différentes variantes.

Ils peuvent être disposés en « papillon » (ou en X) comme représenté figures 1, 2 et 4, cette disposition signifiant que le premier point d'attache A du premier bras 5 à la terminaison 4 est situé plus près de l'axe de symétrie S que son deuxième point d'attache B à la masse sismique 1. Dans ce cas, une translation de la masse sismique 1 vers les poutres 30 provoque alors une compression des poutres.

Comme représenté figure 2, les bras 5 et 6 sont situés de l'autre côté des poutres par rapport aux terminaisons. Ils peuvent aussi être situés du même côté que les poutres, lorsque la longueur L des terminaisons 4 est supérieure à l'écartement E entre la masse sismique 1 et le pied d'ancrage 7, comme représenté figure 3.

Une autre variante de cette disposition en papillon est représentée figure 4 : chaque terminaison 4 présente alors une forme en U.

Les bras 5, 6 peuvent également être disposés en « cric » comme représenté figure 5, cette disposition signifiant que le premier point d'attache A du premier bras 5 est situé plus loin de l'axe de symétrie S que son deuxième point d'attache B. Une translation de la masse sismique 1 vers la poutre 3 provoque alors une traction des poutres.

Sur ces figures, les bras sont représentés de manière rectiligne. Ils peuvent être courbes suivant une forme concave ou convexe comme respectivement représenté sur les figures 6 et 7 qui illustrent une disposition des bras en « cric » correspondant respectivement à celle des figures 3 et 5.

Bien sûr l'accéléromètre comporte de préférence deux structures mobiles 10 et 10' telles que décrites disposées l'une par rapport à l'autre de manière à obtenir une mesure différentielle de l'accélération. Un exemple de cette double structure est représenté figure 8, qui reprend pour chaque

5 structure 10 et 10' la configuration avec des terminaisons en U de la figure 4 ; toute autre configuration peut être utilisée. Sous l'effet d'une accélération dans le sens opposé à l'axe Oy, les poutres vibrantes 30 de la structure 10 subissent une compression alors que les poutres vibrantes 30' de la structure 10' subissent une traction.

10 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la double structure 10 et 10' ne comporte qu'une masse sismique commune aux deux cellules de mesure au lieu de comporter deux masses sismiques 1 et 1'. L'intérêt principal d'un tel accéléromètre est d'obtenir une fréquence de résonance masse-ressort identique pour les deux cellules. Une bonne

15 approximation du calcul de cette fréquence est  $f = \frac{tg(\alpha)}{2 * \pi} \sqrt{\frac{kx}{m}}$  où m est la masse sismique, et kx est la raideur du résonateur selon l'axe Ox. Dans le cas où elles sont séparées, on peut observer des dispersions de fréquence d'une cellule à l'autre.

20 La masse sismique peut être ou non située entre les deux moyens d'amplification 2, 2' ; elle peut également entourer les deux moyens d'amplification 2, 2'. Les paires de bras peuvent être ou non disposés de la même façon d'une cellule à l'autre.

On a représenté figure 9 un accéléromètre ne comportant qu'une masse sismique 1 située au milieu des deux moyens d'amplification 2, 2' identiques dont les bras 5, 6, 5' et 6' sont disposés en « cric ». Dans ce cas,

25 sous l'effet d'une accélération dans le sens opposé à l'axe Oy, les poutres vibrantes 30 subissent une traction alors que les autres poutres vibrantes 30' subissent une compression.

L'accéléromètre figure 10 ne comporte qu'une masse sismique 1

30 située d'un côté de l'accéléromètre, et des premiers moyens d'amplification 2 dont les bras 5, 6 sont disposés en « cric » alors que les bras 5', 6' des autres moyens d'amplification 2' sont disposés en « papillon ». Sur cette figure les bras 6 ne sont pas reliés à un pied d'ancrage mais sont reliés aux bras 5' par un élément de transmission 100 du déplacement des terminaisons 4 vers les

terminaisons 4'. Dans ce cas, sous l'effet d'une accélération dans le sens opposé à l'axe Oy, les poutres vibrantes 30 subissent une traction alors que les autres poutres vibrantes 30' subissent une compression.

La figure 11 illustre le cas où la masse sismique entoure les deux moyens d'amplification 2, 2' dont les bras 5, 6, 5' et 6' sont disposés en « cric ». Dans ce cas, sous l'effet d'une accélération dans le sens opposé à l'axe Oy, les poutres vibrantes 30 subissent une traction alors que les autres poutres vibrantes 30' subissent une compression.

On a réalisé un accéléromètre comportant la double structure telle que représentée figure 8 avec une fréquence de résonance du diapason d'environ 30 kHz pour une accélération nulle, une variation de la fréquence de résonance des poutres vibrantes mesurée par le circuit de mesure d'environ 3 kHz, un déplacement de la masse sismique suivant l'axe y d'environ 10 nanomètres par g, g étant l'accélération terrestre égale à  $9.81 \text{ m/s}^2$ . En négligeant la raideur des moyens d'amplification selon l'axe Ox par rapport à la raideur de la poutre, on obtient au niveau des poutres en fonction de l'angle  $\alpha$ , les rapports d'amplification  $1/\tan \alpha$  suivants :

Angle $\alpha$	1°	2°	3°	4°	5°	10°
Amplification de force	57	29	19	14	11	6

Selon un autre mode de réalisation, la structure de cellule de mesure peut être utilisée en cascade pour multiplier les rapports d'amplification.

La figure 12 illustre le cas où deux étages d'amplification sont disposés en cascade tout en gardant de l'espace pour les électrodes. Les poutres vibrantes 30 représentées sur les figures 1 à 11 sont alors remplacées de manière plus générale par une cellule à poutres vibrantes également disposée entre les terminaisons 4 rigides.

Dans le cas de la figure 12, la cellule à poutres vibrantes comporte deux poutres vibrantes 30 placées sur l'axe de symétrie S (et donc symétriquement par rapport à cet axe S) encastrées à chaque extrémité dans un élément d'encastrement 40 rigide. Chacun de ces éléments d'encastrement 40 comporte une paire de bras secondaires micro-usinés.

Les deux paires sont symétriques par rapport à l'axe de symétrie S. Un premier bras secondaire 50 relie l'élément d'encastrement 40 à une première terminaison 4 de la cellule. Un deuxième bras secondaire 60, symétrique du premier bras par rapport à l'axe des poutres 30, relie l'élément d'encastrement 40 à la deuxième terminaison 4 de la cellule. Ces bras 50 et 60 sont respectivement reliés à l'élément d'encastrement 40 et à la terminaison 4 de la cellule, par des points d'attache. L'épaisseur d'un bras secondaire 50 ou 60 peut varier sur sa longueur.

L'angle  $\beta$  formé par l'axe parallèle à l'axe de la poutre, ici l'axe Oy, et la ligne joignant les points d'attache C et D du premier bras 50 qui, en raison de la symétrie des bras 50 et 60 par rapport à l'axe des poutres 30, est symétrique de l'angle formé par l'axe parallèle à l'axe des poutres et la ligne joignant les points d'attache du deuxième bras 60, est suffisamment faible pour que la force exercée en traction ou en compression sur les poutres 30 soit supérieure à la force d'accélération exercée sur la masse sismique 1. Cette disposition en cascade qui entraîne une multiplication du rapport d'amplification, permet d'obtenir une force de traction ou de compression supérieure à celle obtenue avec une configuration sans cascade.

Finalement, les poutres vibrantes décrites en relation avec les figures 1 à 11 sont un cas particulier de cellule à poutres vibrantes. Dans ce cas particulier, les terminaisons rigides 4 de la cellule à poutres vibrantes sont confondues avec les éléments d'encastrement 40.

Différents exemples de modes de réalisation ont été présentés, mais il existe bien sûr d'autres configurations possibles.

## REVENDEICATIONS

1. Accéléromètre micro-usiné dans une plaque plane comprenant une base, et au moins une cellule de mesure comprenant une masse sismique mobile (1) reliée à la base et susceptible de se déplacer en translation suivant l'axe Oy sensible de l'accéléromètre sous l'effet d'une accélération  $\gamma$  suivant cet axe Oy, une cellule à résonateur comportant un résonateur (30) susceptible de vibrer et de subir une traction ou une compression en fonction du sens de l'accélération  $\gamma$  et placé symétriquement par rapport à un axe de symétrie S de la structure, cet axe S étant parallèle à l'axe Oy et passant par le centre de gravité de la masse sismique (1), la cellule de mesure comprenant en outre des moyens d'amplification (2) de la force d'accélération générant la translation comprenant au moins un pied d'ancrage (7) à la base, deux terminaisons (4) rigides de la cellule à résonateur et deux paires de bras micro-usinés (5, 6), les paires étant symétriques par rapport à l'axe S, chaque paire comportant un premier bras (5) reliant un premier point d'attache (A) sur une terminaison (4) et un deuxième point d'attache (B) sur la masse sismique (1), et un deuxième bras (6) reliant un troisième point d'attache à la même terminaison (4) et un quatrième point d'attache au pied d'ancrage (7), l'angle  $\alpha$  entre l'axe Ox perpendiculaire à l'axe Oy et la ligne joignant les premier et deuxième points d'attache (A, B) étant symétrique par rapport à l'axe reliant les terminaisons (4) par leur milieu, de l'angle entre l'axe Ox et la ligne joignant les troisième et quatrième points d'attache et suffisamment faible pour que la force exercée en traction ou en compression sur le résonateur (30) soit supérieure à la force d'accélération exercée sur la masse sismique (1), caractérisé en ce que la cellule à résonateur comporte deux éléments (40) rigides d'encastrement des extrémités du résonateur (30) et deux paires de bras secondaires micro-usinés (50, 60), ces paires étant symétriques par rapport à l'axe S, chaque paire comportant un premier bras secondaire (50) reliant un premier point d'attache (D) sur un élément d'encastrement (40) et un deuxième point d'attache (C) sur une terminaison (4) de la cellule, et un deuxième bras secondaire (60) reliant un troisième point d'attache à l'autre élément d'encastrement (40) et un quatrième point d'attache à la même terminaison (4) de la cellule, l'angle  $\beta$  entre l'axe Oy et la ligne joignant les

premier et deuxième points d'attache (D, C) étant symétrique par rapport à l'axe passant par les milieux des éléments d'encastrement (40), de l'angle entre l'axe Oy et la ligne joignant les troisième et quatrième points d'attache et suffisamment faible pour que la force exercée en traction ou en compression sur le résonateur (30) soit supérieure à la force d'accélération exercée sur la masse sismique (1).

2. Accéléromètre selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les paires de bras (50, 60) sont rectilignes ou courbes.

3. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier point d'attache (A) du premier bras (5) est situé plus loin de l'axe de symétrie S que son deuxième point d'attache (B).

4. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le premier point d'attache (A) du premier bras (5) est situé plus près de l'axe de symétrie S que son deuxième point d'attache (B).

5. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les paires de bras (5, 6) sont rectilignes ou courbes.

6. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la masse sismique (1) entoure les moyens d'amplification (2).

7. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les premiers et deuxième bras (5, 6) présentent une épaisseur variable sur leur longueur.

8. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des bras de guidage (8) de la masse sismique (1) disposés suivant l'axe Ox et reliés à une partie (9) fixée à la base.

9. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte deux cellules de mesure (10, 10') placées l'une par rapport à l'autre de manière à ce que sous l'effet d'une accélération, le résonateur d'une cellule de mesure (10) subisse une traction alors que le résonateur de l'autre cellule de mesure (10') subit une compression.

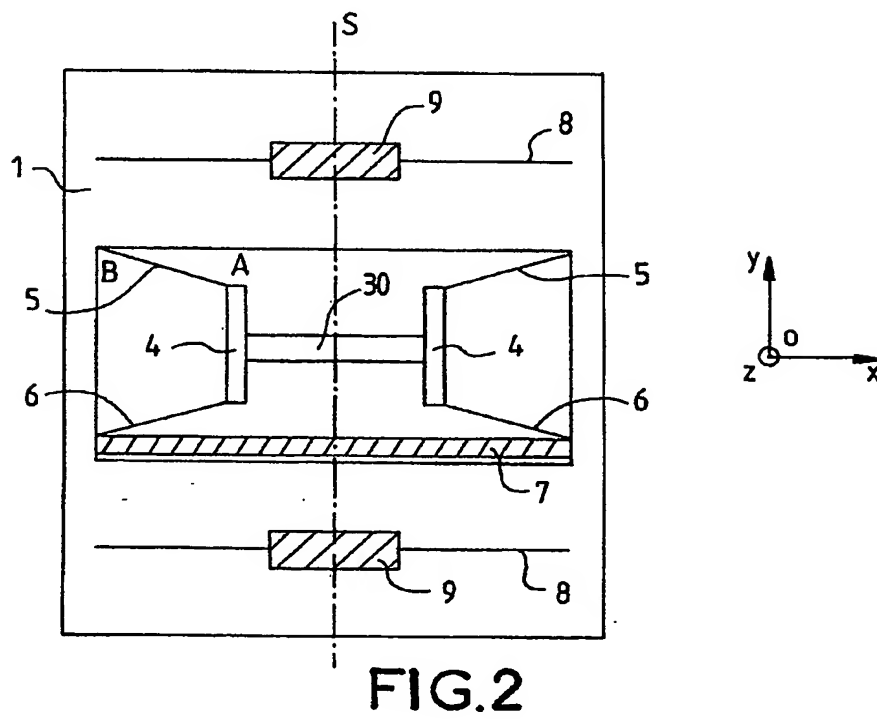
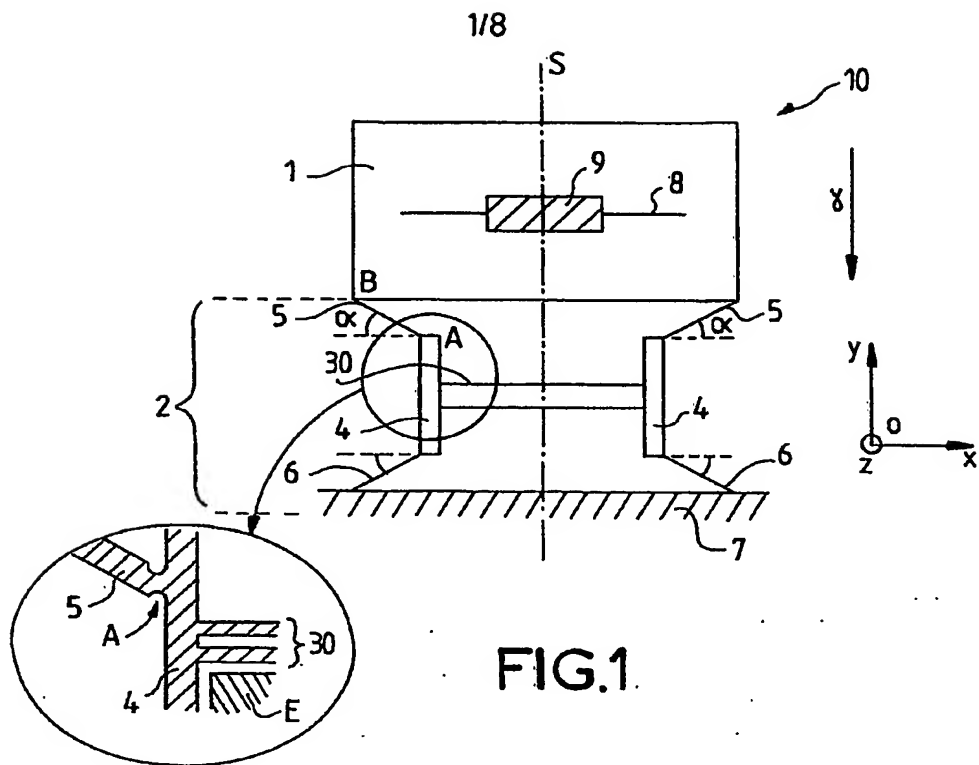
10. Accéléromètre selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les deux cellules de mesure (10, 10') ont une masse sismique commune.

11. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que les bras (5, 6, 5', 6') sont disposés de la même façon pour chacune des cellules de mesure (10, 10').

12. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que les bras (5, 6, 5', 6') ne sont pas disposés de la même façon pour chacune des cellules de mesure (10, 10').

13. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le résonateur (30) comporte une poutre vibrante ou deux poutres vibrantes formant diapason ou au moins trois poutres vibrantes ou une barre de torsion.





2/8

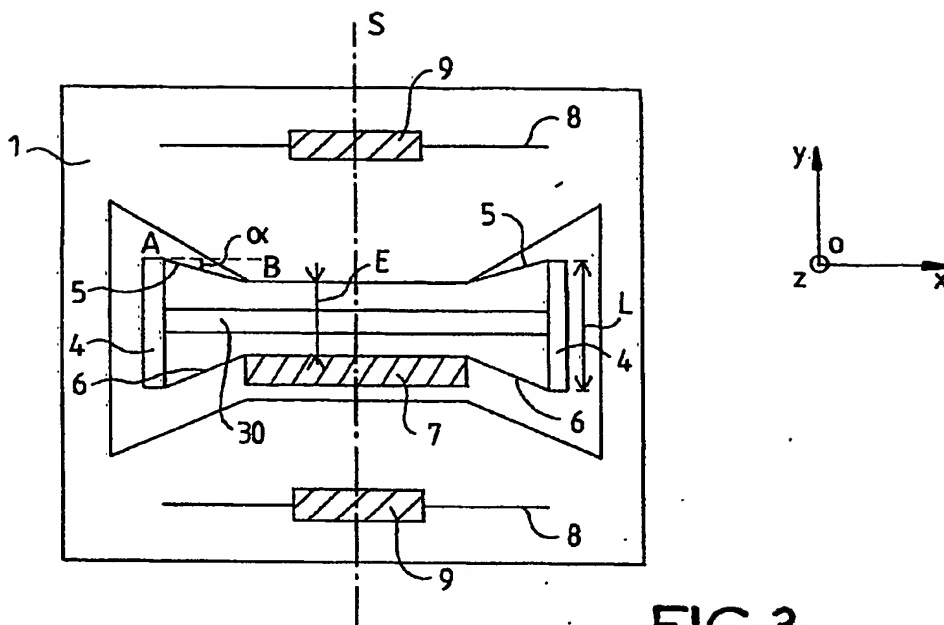


FIG.3

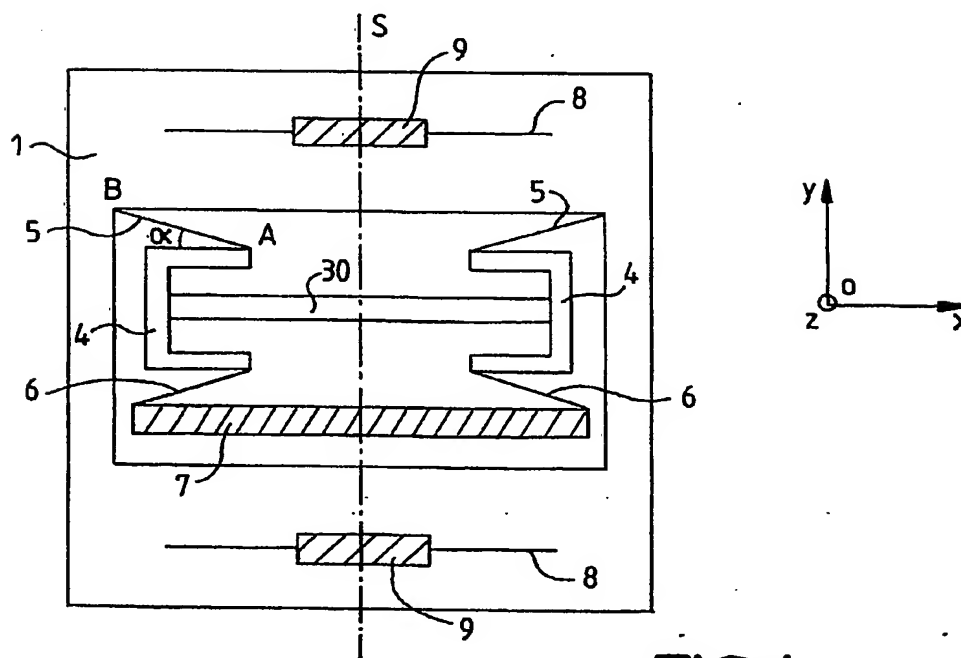


FIG.4

3/8

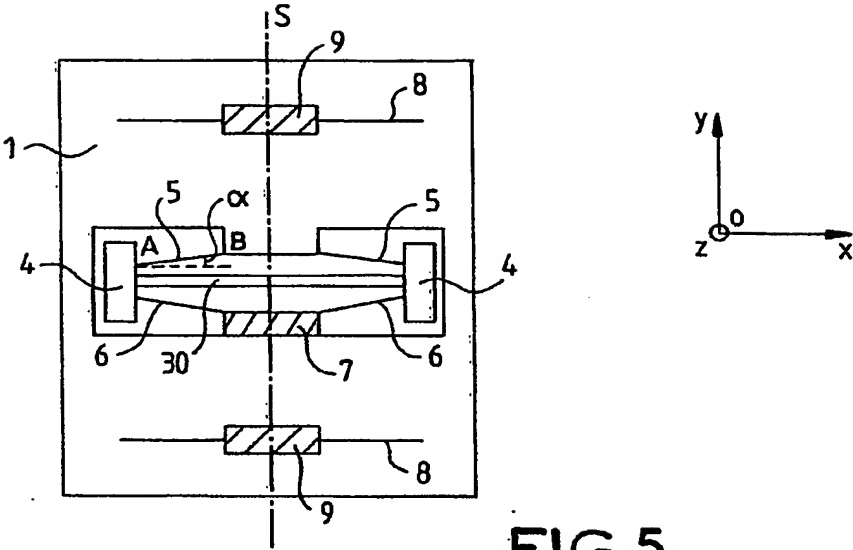


FIG. 5

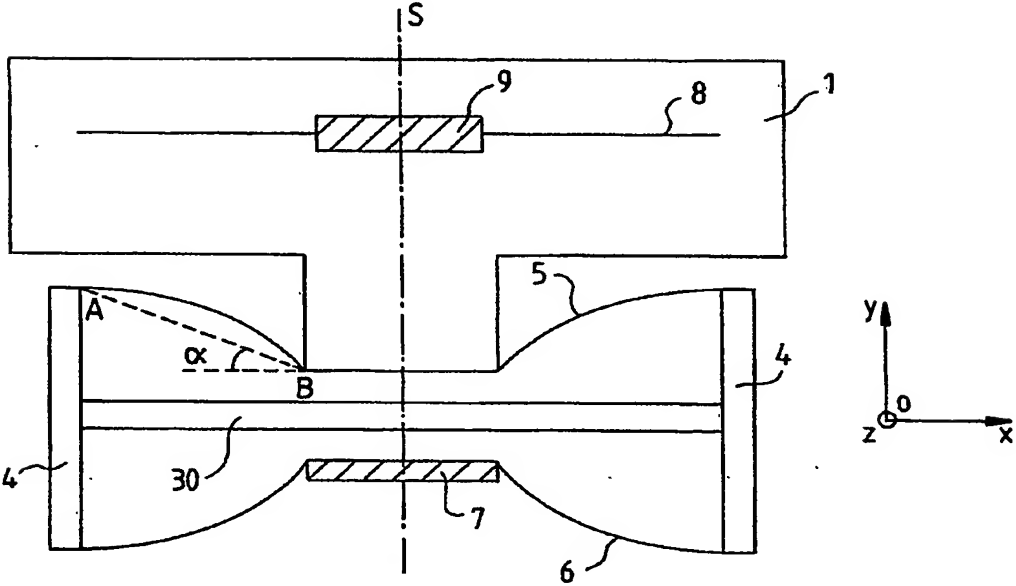
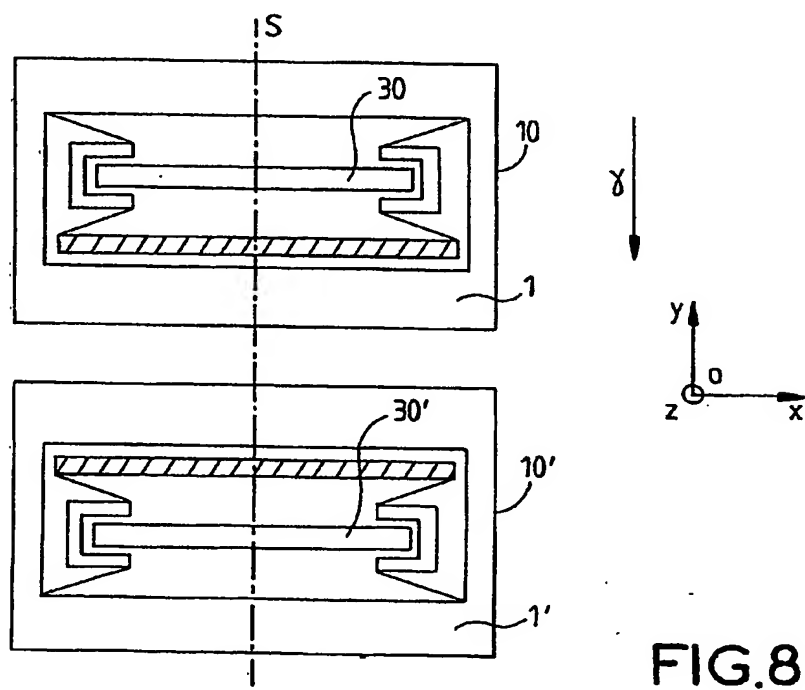
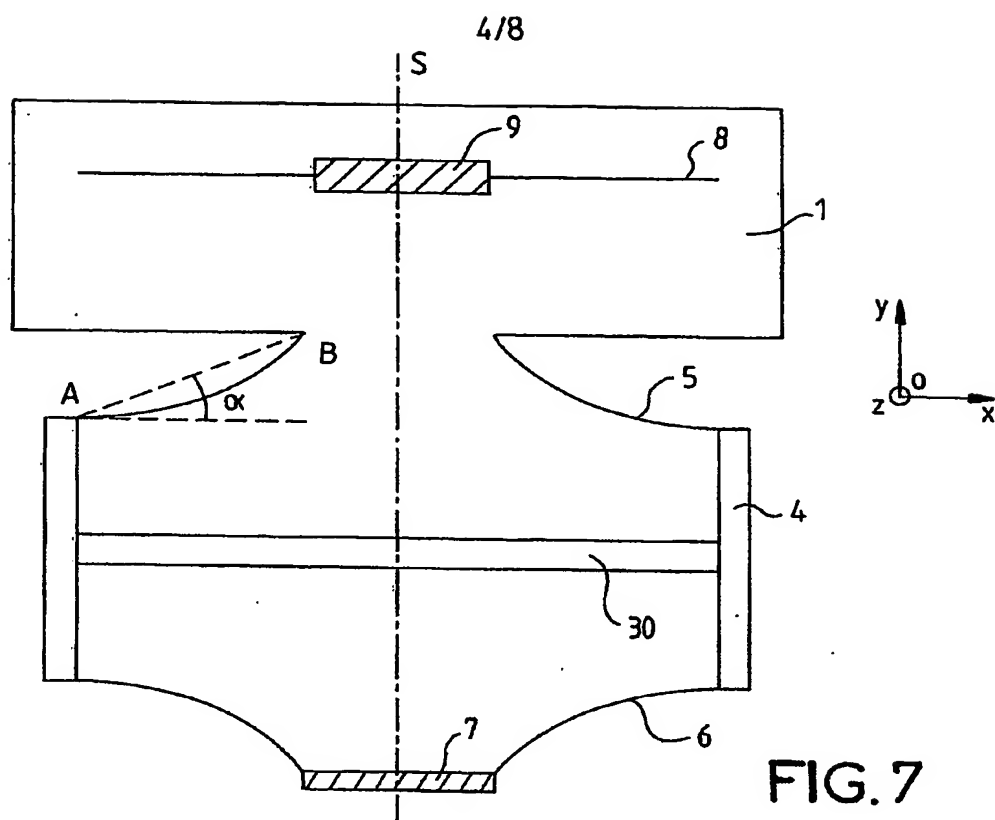


FIG. 6



5/8

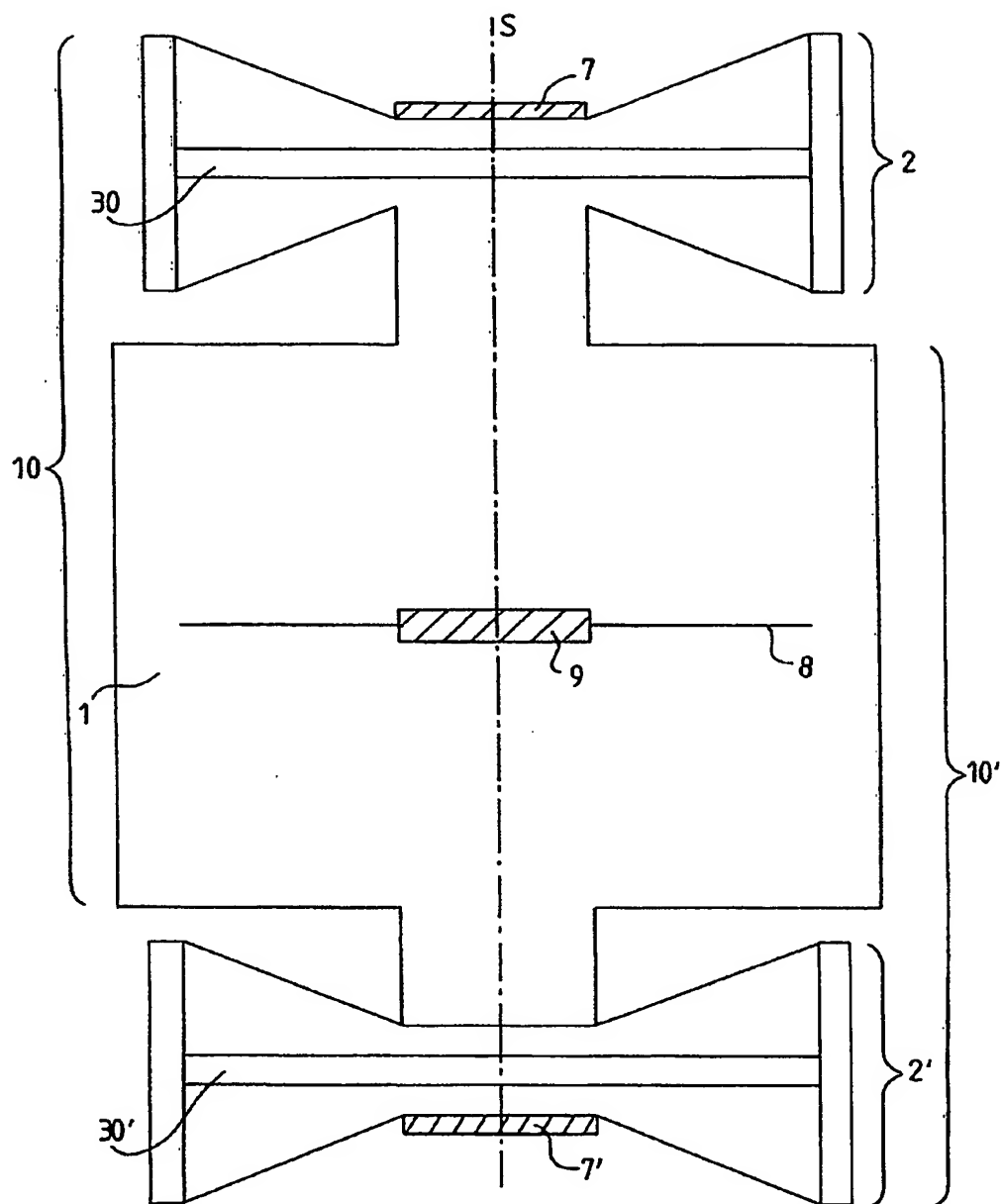
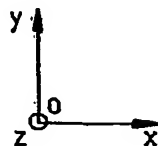


FIG. 9.



6/8

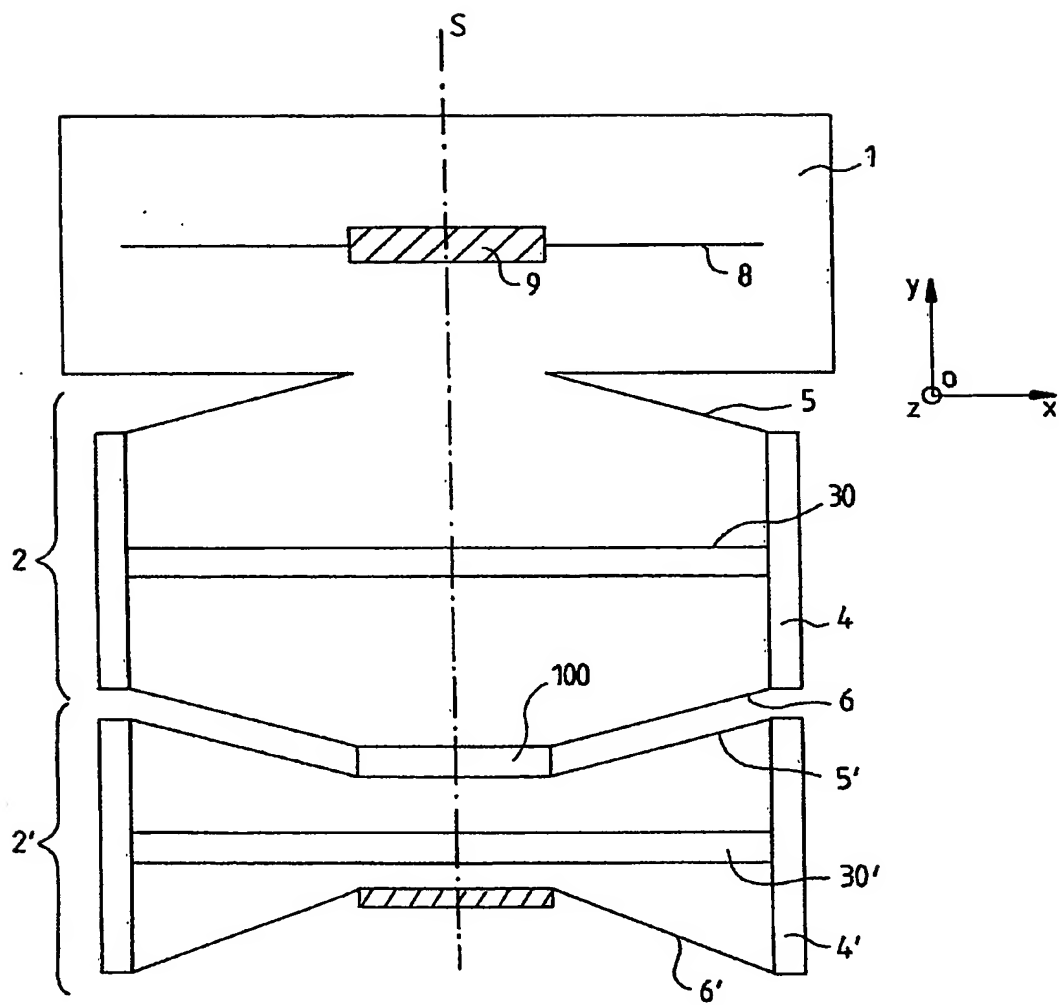


FIG.10

7/8

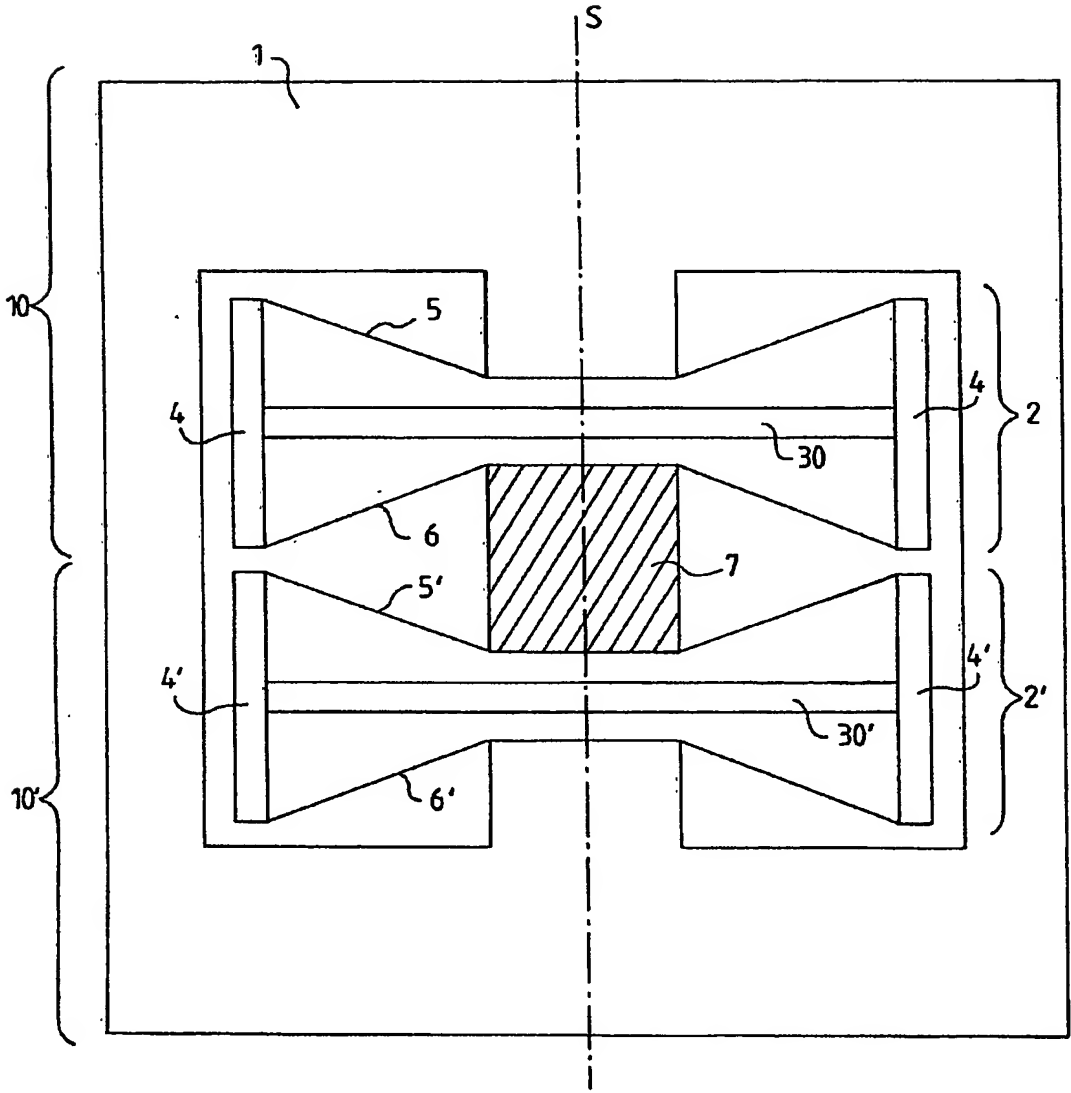
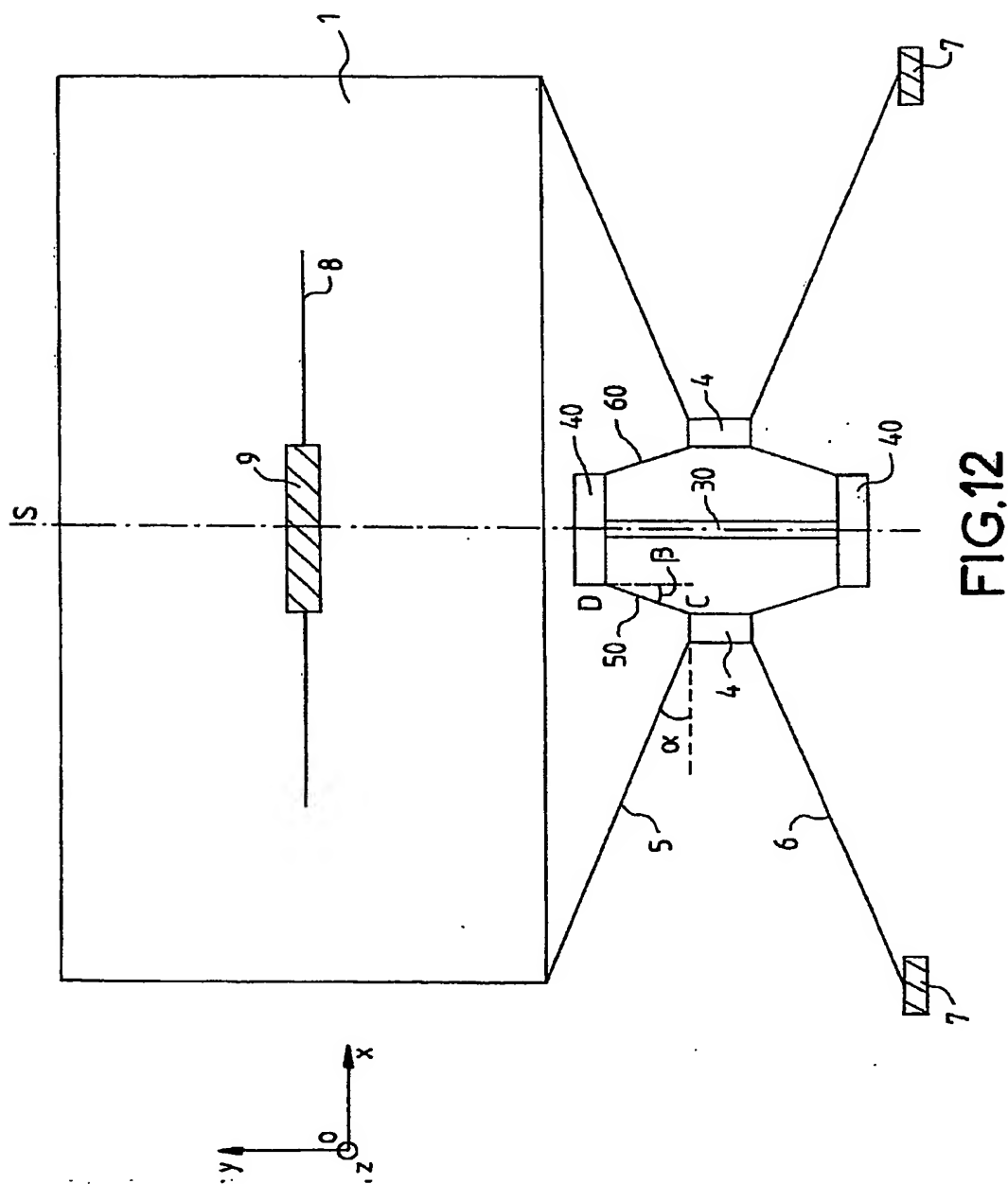


FIG.11

8/8





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 03/50915

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G01P15/10 G01L1/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01P G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 318 152 A (HANSON RICHARD A) 31 May 1989 (1989-05-31)	1-13
Y	column 1, paragraph 3 - column 3, paragraph 5 column 5, paragraph 1 - column 8, paragraph 3	1,3-13
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 0110, no. 19 (P-537), 20 January 1987 (1987-01-20) & JP 61 194325 A (SHINKO DENSHI KK), 28 August 1986 (1986-08-28) abstract	1,3,5

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 March 2004

Date of mailing of the international search report

11/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Felicetti, C

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/50915

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 095 764 A (SANER KASPAR) 17 March 1992 (1992-03-17) abstract; figures 7,8,10,11 column 13, last paragraph - column 14, paragraph 2 column 16, paragraph 3 - column 16, paragraph 4	1,3-5,7
Y	US 5 969 250 A (GREIFF PAUL) 19 October 1999 (1999-10-19) column 8, paragraph 5 - column 11, paragraph 3; figures 8-11	1,6,8-12
Y	US 5 969 249 A (HOWE ROGER T ET AL) 19 October 1999 (1999-10-19) abstract; figures 4,5 column 3, paragraph 3 - column 4, paragraph 7	1,8-11, 13

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/50915

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0318152	A	31-05-1989	US 4856350 A	15-08-1989
			AT 110846 T	15-09-1994
			DE 3851307 D1	06-10-1994
			DE 3851307 T2	22-12-1994
			EP 0318152 A2	31-05-1989
			US 4970903 A	20-11-1990
JP 61194325	A	28-08-1986	NONE	
US 5095764	A	17-03-1992	CA 2018064 A1	08-12-1990
			DE 59002273 D1	16-09-1993
			EP 0402320 A1	12-12-1990
			ES 2043343 T3	16-12-1993
			JP 1933190 C	26-05-1995
			JP 3054428 A	08-03-1991
			JP 6058268 B	03-08-1994
US 5969250	A	19-10-1999	US 5760305 A	02-06-1998
			US 5605598 A	25-02-1997
			US 5408119 A	18-04-1995
			US 5507911 A	16-04-1996
US 5969249	A	19-10-1999	NONE	

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/EP 03/50915

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/EP 03/50915

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G01P15/10 G01L1/10

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01P G01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 318 152 A (HANSON RICHARD A) 31 mai 1989 (1989-05-31)	1-13
Y	colonne 1, alinéa 3 - colonne 3, alinéa 5 colonne 5, alinéa 1 - colonne 8, alinéa 3	1,3-13
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 0110, no. 19 (P-537), 20 janvier 1987 (1987-01-20) & JP 61 194325 A (SHINKO DENSHI KK), 28 août 1986 (1986-08-28) abrégé	1,3,5
	----- -/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*G\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

1 mars 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

11/03/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Felicetti, C

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/EP 03/50915

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 5 095 764 A (SANER KASPAR) 17 mars 1992 (1992-03-17) abrégé; figures 7,8,10,11 colonne 13, dernier alinéa - colonne 14, alinéa 2 colonne 16, alinéa 3 - colonne 16, alinéa 4	1,3-5,7
Y	US 5 969 250 A (GREIFF PAUL) 19 octobre 1999 (1999-10-19) colonne 8, alinéa 5 - colonne 11, alinéa 3; figures 8-11	1,6,8-12
Y	US 5 969 249 A (HOWE ROGER T ET AL) 19 octobre 1999 (1999-10-19) abrégé; figures 4,5 colonne 3, alinéa 3 - colonne 4, alinéa 7	1,8-11, 13

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/EP 03/50915

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 0318152	A	31-05-1989	US	4856350 A	15-08-1989
			AT	110846 T	15-09-1994
			DE	3851307 D1	06-10-1994
			DE	3851307 T2	22-12-1994
			EP	0318152 A2	31-05-1989
			US	4970903 A	20-11-1990
-----					
JP 61194325	A	28-08-1986	AUCUN		
-----					
US 5095764	A	17-03-1992	CA	2018064 A1	08-12-1990
			DE	59002273 D1	16-09-1993
			EP	0402320 A1	12-12-1990
			ES	2043343 T3	16-12-1993
			JP	1933190 C	26-05-1995
			JP	3054428 A	08-03-1991
			JP	6058268 B	03-08-1994
-----					
US 5969250	A	19-10-1999	US	5760305 A	02-06-1998
			US	5605598 A	25-02-1997
			US	5408119 A	18-04-1995
			US	5507911 A	16-04-1996
-----					
US 5969249	A	19-10-1999	AUCUN		

## Cadre III TEXTE DE L'ABREGE (suite du point 5 de la première feuille)

Accéléromètre micro-usiné dans une plaque plane comprenant une base, et au moins une cellule de mesure comprenant une masse sismique mobile (1) reliée à la base et susceptible de se déplacer en translation suivant l'axe y sensible de l'accéléromètre sous l'effet d'une accélération y suivant cet axe y, une cellule à résonateur comportant un résonateur (30) susceptible de vibrer et de subir une traction ou une compression en fonction du sens de l'accélération y et placée symétriquement par rapport à un axe de symétrie S de la structure, cet axe S étant parallèle à l'axe y et passant par le centre de gravité de la masse sismique (1), la cellule de mesure comprenant en outre des moyens d'amplification (2) de la force d'accélération comprenant au moins un pied d'ancrage (7) à la base, deux terminaisons (4) rigides de la cellule à résonateur et deux paires de bras micro-usinés (5, 6) symétriques par rapport à l'axe S, chaque paire comportant un premier bras (5) reliant une terminaison (4) à la masse sismique (1), et un deuxième bras (6) reliant la même terminaison (4) au pied d'ancrage (7), l'angle  $\alpha$  entre l'axe Ox et le premier bras étant suffisamment faible pour que la force exercée en traction ou en compression sur le résonateur (30) soit supérieure à la force d'accélération exercée sur la masse sismique (1). Selon l'invention, deux paires secondaires (50, 60) sont prévues, reliant un point d'attache (D) sur un élément d'encastrement (40) avec un point d'attache (C) sur une terminaison (4) de la cellule.